

MĚŘENÍ KAPACITNÍ DIODY

RADOCHA Karol, ČR

Resumé

V článku je popsáno měření kapacitní diody a výpočet difuzního napětí.

Klíčová slova: měření, kapacitní dioda, difuzní napětí.

MEASUREMENT VARICAP

Abstract

The article discusses the measurement and calculation of the capacitance diodes diffuse tensions.

Keywords: measurement, capacitance diodes, diffuse tensions.

Úvod

Polovodičová dioda je konstrukční prvek, který se používá k usměrňování střídavého proudu. Na malém krystalu křemíku s nevlastní vodivostí typu N je difuzí hliníku vytvořena oblast s převládající vodivostí typu P. Na rozhraní oblastí s rozdílným typem vodivosti se vytváří vrstvička nazývaná PN přechod. Elektrony difundují vrstvou z oblasti N do oblasti P proto, že jsou více přitahovány k jádru atomu křemíku v oblasti P. Na PN přechodu vznikne napětí U_0 zvané difuzní napětí. Jestliže elektron přechází z N do P musí mít energii

$$W = e \cdot U_0,$$

kde e je náboj elektronu. Tato energie je rovna rozdílu energií Fermiho hladin

$$W = W_{F(P)} - W_{F(N)}$$

ve vrstvičkách P a N přechodu PN. Jestliže

$U_0 = \varphi_N - \varphi_P$ je rovno rozdílu potenciálů vrstviček P, N má po úpravě

$$e \cdot U_0 = e \cdot \varphi_P - e \cdot \varphi_N = W_{F(P)} - W_{F(N)}$$

$$W_{F(P)} + e \cdot \varphi_N = W_{F(P)} + e \cdot \varphi_P$$

1 Názorné vysvětlení

Energeticky bohatší elektrony přecházejí z oblasti N do oblasti P a tím se snižuje energie Fermiho hladiny $W_{F(N)}$ a zvyšuje energie Fermiho hladiny $W_{F(P)}$. Současně se ale zvyšuje potenciál oblasti N a snižuje se potenciál oblasti P. Vše je uvažováno vzhledem k samostatnému křemíku P a samostatnému křemíku N.

Vznik difuzního napětí U_0 na přechodu PN je jen důsledkem zákona zachování energie. Vytvoření potenciálové bariéry na přechodu PN znemožňuje průchod majoritních nosičů přes přechod. Přechodem PN prochází jen nepatrný proud minoritních nosičů tj. děr z N do P a elektronů z P do N.

Tyto minoritní nosiče proudu vznikají náhodným vytrháváním elektronů z vazeb tepelným pohybem krystalické mřížky křemíku. Prakticky je oblast přechodu PN bez volných nosičů elektrického náboje a chová se jako izolant mezi nabitými oblastmi N a P. Kapacitu přechodu PN můžeme počítat stejně jako kapacitu deskového kondenzátoru

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S}{X},$$

kde X je efektivní šířka vyprázdněné vrstvy, S je plocha přechodu a ε dielektrická konstanta křemíku.

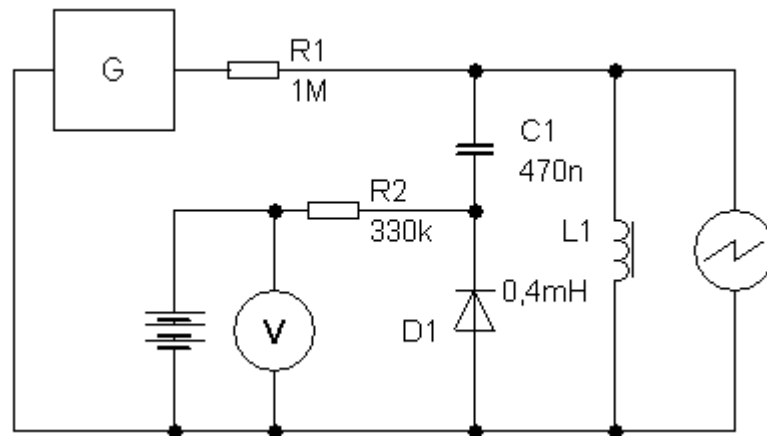
Platí přibližně

$$X = \left[\frac{2\varepsilon \cdot (U_{ka} + U_0)}{e \cdot N} \right]^n$$

tj. šířka prázdné vrstvy se exponenciálně zvětšuje v závislosti na napětí U_{ka} . Proto se bude kapacita PN přechodu exponenciálně snižovat při zvětšování závěrného napětí U_{ka} .

$$C = \frac{\varepsilon \cdot S \cdot (e \cdot N)^n}{(2\varepsilon)^n} \cdot \frac{1}{(U_{ka} + U_0)^n} = K \cdot \frac{1}{(U_{ka} + U_0)^n}.$$

K je souhrnná konstanta, neboť ε , S , N , n , e jsou pro danou diodu též konstanty. Konstanta N je počet iontů příměsí v oblasti přechodu PN. Konstanta n charakterizuje rozložení iontů příměsí v oblasti přechodu PN. Při náhlé změně koncentrace donorů a akceptorů mluvíme o strmém přechodu PN a konstanta $n > 1/2$. Takové přechody se vytváří sléváním a rekrytalizací roztaveného polovodiče s příměsovou složkou. Přechody vytvořené difuzí nečistot charakterizuje $n \leq 1/2$. Uvnitř oblasti přechodu PN má gradient koncentrace nečistot hladký a spojitý průběh. Vyprázdněná oblast se rozšiřuje při vložení závěrného napětí na tu stranu, která je slaběji dotována příměsí.



Obrázek č. 1 Schéma zapojení

Kapacita diody C_D s kapacitou $47 \cdot 10^{-8}$ F v sérii s indukčností cívky $L = 0,4$ mH vytvoří paralelní laděný oscilační obvod. Střídavé napětí o frekvenci f přivádíme přes oddělovací odpor $1 \text{ M}\Omega$ z tónového generátoru. Jestliže zjistíme rezonanční frekvenci f_r při které je napětí v obvodu maximální, můžeme kapacitu vypočítat z Thompsonova vztahu

$$C = \frac{1}{f_r^2 \cdot L}$$

platí

$$C = \frac{C_D \cdot 47 \cdot 10^{-8}}{C_D + 47 \cdot 10^{-8}} = \frac{C_D}{1 + \frac{C_D}{47 \cdot 10^{-8}}}.$$

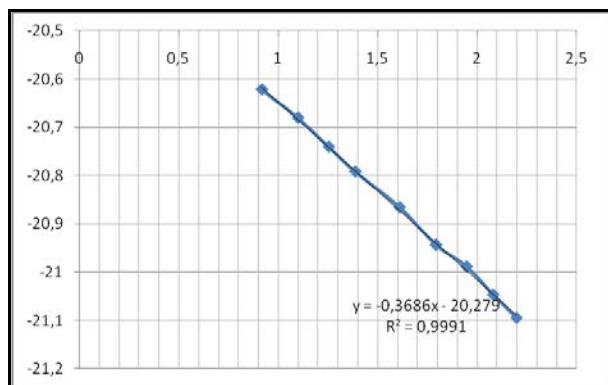
Protože očekávaná kapacita $C_D \approx 10^{-9}$ F lze $\frac{C_D}{47 \cdot 10^{-8}}$ položit nule a pak $C = C_D$.

Napětí U_{ka} měříme vhodným voltmetrem přímo na zdroji. Odpor diody zapojené v závěrném směru je větší než 30 MΩ. Proto odpor 330 kΩ nezpůsobuje větší chybu v měření napětí U_{ka} . Odpor 330 kΩ způsobuje, že rezonanční obvod není zatlumen malým vnitřním odporem regulovatelného stabilizovaného zdroje. Proto je rezonance velmi ostrá.

2 Měření

Tabulka č.1 – Naměřené hodnoty rezonanční frekvence

U_{ka} [V]	f_r [kHz]	C [F]	$\ln C$	$\ln U_{ka}$
0	173,6	2,10E-09	-19,9807	
0,2	183,1	1,89E-09	-20,0873	-1,60944
0,5	194,5	1,67E-09	-20,2081	-0,69315
0,9	207,4	1,47E-09	-20,3365	-0,10536
1,5	221,2	1,29E-09	-20,4654	0,405465
2	231,4	1,18E-09	-20,5555	0,693147
2,5	239,2	1,11E-09	-20,6218	0,916291
3	246,3	1,04E-09	-20,6803	1,098612
3,5	253,8	9,83E-10	-20,7403	1,252763
4	260,4	9,34E-10	-20,7917	1,386294
5	270,2	8,67E-10	-20,8655	1,609438
6	280,9	8,03E-10	-20,9432	1,791759
7	287,3	7,67E-10	-20,9883	1,94591
8	295,8	7,24E-10	-21,0466	2,079442
9	303	6,90E-10	-21,0947	2,197225



Graf č.1 – závislost $\ln C$ na $\ln U_{ka}$

Vyjdeme z rovnice

$$C = K \cdot \frac{1}{(U_{ka} + U_0)^n}$$

Její logaritmováním získáme

$$\ln C = \ln K - n \cdot \ln(U_{ka} + U_0)$$

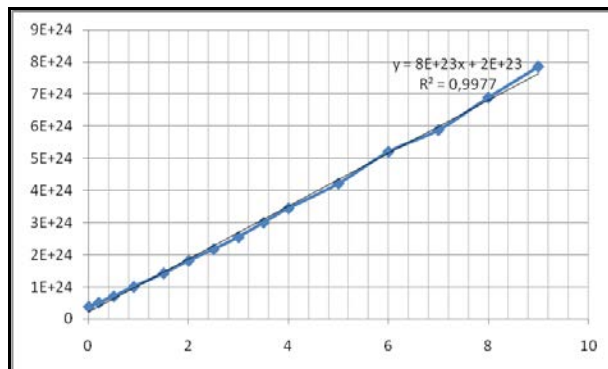
Pro větší hodnoty napětí je U_0 zanedbatelné proti napětí U_{ka} a můžeme tedy psát

$$\ln C = -n \cdot \ln U_{ka} + \ln K$$

Proto z regrese vyřadíme několik prvních hodnot, kdy se U_0 blíží U_{ka} . Regresní rovnice je

$$\ln C = -0,368 \cdot \ln U_{ka} - 20,279$$

Odtud je zřejmé, že $n = 0,368$ a $\ln K = -20,279$
 $K = 1,559 \cdot 10^{-9}$ v SI.



Graf č.2 – závislost $C^{\frac{1}{n}}$ na U_{ka}

Umocněním rovnice

$$C = K \cdot \frac{1}{(U_{ka} + U_0)^n} \text{ na } -\frac{1}{n} \text{ získáme } C^{\frac{1}{n}} = K^{\frac{1}{n}} \cdot (U_{ka} + U_0)$$

Rovnice regrese je $C^{\frac{1}{n}} = 8 \cdot 10^{23} \cdot U_{ka} + 2 \cdot 10^{23}$

Odtud získáme $K^{\frac{1}{n}} = 8 \cdot 10^{23}$ v SI a z druhého členu $K^{\frac{1}{n}} \cdot U_0 = 2 \cdot 10^{23}$ z toho plyne $8 \cdot 10^{23} \cdot U_0 = 2 \cdot 10^{23}$. A z toho již vychází hodnota napětí $U_0 = 0,25$ V.

Závěr

Kapacita diody vychází v rozumných mezích řádově pF, konstanta n vyšla menší než 0,5, což platí pro difuzní diody. Difuzní napětí U_0 by se mělo přibližně rovnat prahovému napětí diody, které se uvádí v rozmezí 0,5 až 0,6 V. Odchylna je pravděpodobně způsobena způsobem zpracování lineární regrese v první části, kde se neuvažují hodnoty $U_{ka} \leq 2$ V.

Literatura

1. FRISCH, Herbert: *Základy elektroniky a elektronických obvodů*. SNTL, Praha, 1987.
2. Katalog součástek pro elektroniku.
3. LÁNÍČEK, Robert: *Elektronika (obvody součástky děje)*. BEN – technická literatura, Praha, 1998.
4. NEUMANN, Přemek a UHLÍŘ, Jan: *Elektronické obvody*. České vysoké učení technické v Praze, 1998.

Lektoroval: PaedDr. René Drtina, Ph.D.

Kontaktní adresa:

Karol Radocha, Ing. Ph.D.
Katedra fyziky
Přírodovědecká fakulta UHK, Rokitanského 62, 500 03
Hradec Králové, ČR, , tel. 00420 493331120
e-mail: karol.radocha@uhk.cz